

#2
C.A.
2/7/02

Attorney Docket No. 392.1735

IN THE UNITED STATES PATENT AND TRADEMARK OFFICE

In re Patent Application of:

Masaki KURIHARA et al.

Application No.: Unassigned

Group Art Unit: Unassigned

Filed: December 19, 2001

Examiner:

JC564 U.S. PTO
10/023906
12/21/01

For: CONTROLLER FOR WIRE ELECTRIC DISCHARGE MACHINE

**SUBMISSION OF CERTIFIED COPY OF PRIOR FOREIGN
APPLICATION IN ACCORDANCE
WITH THE REQUIREMENTS OF 37 C.F.R. § 1.55**

Assistant Commissioner for Patents
Washington, D.C. 20231

Sir:

In accordance with the provisions of 37 C.F.R. § 1.55, the applicant(s) submit(s)
herewith a certified copy of the following foreign application:

Japanese Patent Application No. 2000-391748

Filed: December 25, 2001

It is respectfully requested that the applicant(s) be given the benefit of the foreign filing
date(s) as evidenced by the certified papers attached hereto, in accordance with the
requirements of 35 U.S.C. § 119.

Respectfully submitted,

STAAS & HALSEY LLP

Date: December 21, 2001

By: _____

James D. Halsey, Jr.
Registration No. 22,729

700 11th Street, N.W., Ste. 500
Washington, D.C. 20001
(202) 434-1500

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

JC564 U.S. PTO
10/023906
12/21/01

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2000年12月25日

出 願 番 号

Application Number:

特願2000-391748

出 願 人

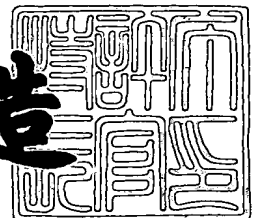
Applicant(s):

ファナック株式会社

2001年11月30日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

及 川 耕 造



出証番号 出証特2001-3105651

【書類名】 特許願
【整理番号】 20694P
【あて先】 特許庁長官 殿
【国際特許分類】 B23H 7/18

【発明者】

【住所又は居所】 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場 3 5 8 0 番地 ファ
ナック株式会社 内

【氏名】 栗原 正機

【発明者】

【住所又は居所】 山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場 3 5 8 0 番地 ファ
ナック株式会社 内

【氏名】 平賀 薫

【特許出願人】

【識別番号】 390008235

【氏名又は名称】 ファナック株式会社

【代理人】

【識別番号】 100082304

【弁理士】

【氏名又は名称】 竹本 松司

【電話番号】 03-3502-2578

【選任した代理人】

【識別番号】 100088351

【弁理士】

【氏名又は名称】 杉山 秀雄

【選任した代理人】

【識別番号】 100093425

【弁理士】

【氏名又は名称】 湯田 浩一

【選任した代理人】

【識別番号】 100102495

【弁理士】

【氏名又は名称】 魚住 高博

【選任した代理人】

【識別番号】 100101915

【弁理士】

【氏名又は名称】 塩野入 章夫

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 015473

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9306857

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 ワイヤ放電加工機の制御装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】 ワイヤ状電極と被加工物とを相対移動させながら、前記ワイヤ状電極と被加工物との間に放電パルス電流を投入して放電加工を行うワイヤ放電加工機の制御装置において、
投入した放電パルス数を所定時間ごとに計数する放電パルス数計数手段と、
移動指令に基づいて前記ワイヤ状電極と被加工物を加工経路に沿って相対移動させる移動手段と、
基準となる放電パルス数を記憶する基準放電パルス数記憶手段と、
前記放電パルス数計数手段が得た数値と前記基準放電パルス数記憶手段に記憶した数値との比率を求める手段と、
設定送り速度と前記所定時間とで求まる前記ワイヤ状電極と被加工物の相対移動距離に前記比率を乗じて求めた距離を移動指令として前記所定時間毎前記移動手段に出力する手段とを有することを特徴とするワイヤ放電加工機の制御装置。

【請求項 2】 ワイヤ状電極と被加工物とを相対移動させながら、前記ワイヤ状電極と被加工物との間に放電パルス電流を投入して放電加工を行うワイヤ放電加工機の制御装置において、
投入した放電パルス電流を所定時間ごとに積分演算する放電パルス電流積分演算手段と、
移動指令に基づいて前記ワイヤ状電極と被加工物を加工経路に沿って相対移動させる移動手段と、
基準となる放電パルス電流の時間積分値を記憶する基準放電パルス電流積分値記憶手段と、
前記放電パルス電流積分値演算手段が得た数値と前記基準放電パルス電流積分値記憶手段に記憶した数値との比率を求める手段と、
設定送り速度と前記所定時間とで求まる前記ワイヤ状電極と被加工物の相対移動距離に前記比率を乗じて求めた距離を移動指令として前記所定時間毎前記移動手段に出力する手段とを有することを特徴とするワイヤ放電加工機の制御装置。

【請求項3】 ワイヤ状電極と被加工物とを相対移動させながら、前記ワイヤ状電極と被加工物との間に放電パルス電流を投入して放電加工を行うワイヤ放電加工機の制御装置において、

投入した放電パルス数を所定時間ごとに計数する放電パルス数計数手段と、
移動指令に基づいて前記ワイヤ状電極と被加工物を加工経路に沿って相対移動させる移動手段と、

基準となる放電パルス数を記憶する基準放電パルス数記憶手段と、

前記放電パルス数計数手段が指定時間ごとに得た数値と前記基準放電パルス数記憶手段に記憶した数値とを比較する手段と、

前記比較結果に応じて、前記放電パルス数計数手段が所定時間ごとに得た数値が前記基準放電パルス数記憶手段に記憶した数値と一致するように、放電休止時間を制御する手段とを有することを特徴とするワイヤ放電加工機の制御装置。

【請求項4】 ワイヤ状電極と被加工物とを相対移動させながら、前記ワイヤ状電極と被加工物との間に放電パルス電流を投入して放電加工を行うワイヤ放電加工機の制御装置において、

投入した放電パルス数を所定時間ごとに計数する放電パルス数計数手段と、
移動指令に基づいて前記ワイヤ状電極と被加工物を加工経路に沿って相対移動させる移動手段と、

基準となる放電パルス数を記憶する基準放電パルス数記憶手段と、

前記放電パルス数計数手段が所定時間ごとに得た数値と前記基準放電パルス数記憶手段に記憶した数値とを比較する手段と、

該比較結果に応じてエネルギーの余剰投入を抑えるよう放電休止時間を制御する休止時間制御装置とを備えたワイヤ放電加工機の制御装置。

【請求項5】 ワイヤ状電極と被加工物とを相対移動させながら、前記ワイヤ状電極と被加工物との間に放電パルス電流を投入して放電加工を行うワイヤ放電加工機の制御装置において、

投入した放電パルス電流を所定時間ごとに積分演算する放電パルス電流積分演算手段と、

移動指令に基づいて前記ワイヤ状電極と被加工物を加工経路に沿って相対移動さ

せる移動手段と、

基準となる放電パルス電流の時間積分値を記憶する基準放電パルス電流積分値記憶手段と、

前記放電パルス電流積分値演算手段が所定時間ごとに得た数値と前記基準放電パルス電流積分値記憶手段に記憶した数値とを比較する手段と、

該比較結果に応じて余剰エネルギーの投入を抑えるよう放電休止時間を制御する休止時間制御装置とを備えたワイヤ放電加工機の制御装置。

【請求項 6】 ワイヤ状電極と被加工物とを相対移動させながら、前記ワイヤ状電極と被加工物との間に放電パルス電流を投入して放電加工を行うワイヤ放電加工機の制御装置において、

投入した放電パルス数を所定時間ごとに計数する放電パルス数計数手段と、

移動指令に基づいて前記ワイヤ状電極と被加工物を加工経路に沿って相対移動させる移動手段と、

基準となる放電パルス数を記憶する基準放電パルス数記憶手段と、

前記放電パルス数計数手段が所定時間ごとに得た数値と前記基準放電パルス数記憶手段に記憶した数値との比率を求める手段と、

該比率に応じて冷却液量を増減するようにした液量制御装置とを備えたワイヤ放電加工機の制御装置。

【請求項 7】 ワイヤ状電極と被加工物とを相対移動させながら、前記ワイヤ状電極と被加工物との間に放電パルス電流を投入して放電加工を行うワイヤ放電加工機の制御装置において、

投入した放電パルス電流を所定時間ごとに積分演算する放電パルス電流積分演算手段と、

移動指令に基づいて前記ワイヤ状電極と被加工物を加工経路に沿って相対移動させる移動手段と、

基準となる放電パルス電流の時間積分値を記憶する基準放電パルス電流積分値記憶手段と、

前記放電パルス電流積分値演算手段が所定時間ごとに得た数値と前記基準放電パルス電流積分値記憶手段に記憶した数値との比率を求める手段と、

前記比率に応じて冷却液量を増減するようにした液量制御装置とを備えたワイヤ放電加工機の制御装置。

【請求項 8】 ワイヤ状電極と被加工物とを相対移動させながら、前記ワイヤ状電極と被加工物との間に放電パルス電流を投入して放電加工を行うワイヤ放電加工機の制御装置において、

投入した放電パルス数を所定時間ごとに計数する放電パルス数計数手段と、移動指令に基づいて前記ワイヤ状電極と被加工物を加工経路に沿って相対移動させる移動手段と、

基準となる放電パルス数を記憶する基準放電パルス数記憶手段と、

前記放電パルス数計数手段が得た数値と前記基準放電パルス数記憶手段に記憶した数値とを比較する比較手段とを有し、

比較結果に基づいて、放電休止時間を制御すると共に、前記移動手段に出力する移動指令の前記所定時間毎の送り量を制御するようにしたことを特徴とするワイヤ放電加工機の制御装置。

【請求項 9】 ワイヤ状電極と被加工物とを相対移動させながら、前記ワイヤ状電極と被加工物との間に放電パルス電流を投入して放電加工を行うワイヤ放電加工機の制御装置において、

投入した放電パルス電流を所定時間ごとに積分演算する放電パルス電流積分演算手段と、

移動指令に基づいて前記ワイヤ状電極と被加工物を加工経路に沿って相対移動させる移動手段と、

基準となる放電パルス電流の時間積分値を記憶する基準放電パルス電流積分値記憶手段と、

前記放電パルス電流積分値演算手段が得た数値と前記基準放電パルス電流積分値記憶手段に記憶した数値とを比較する比較手段とを有し、

比較結果に基づいて、放電休止時間を制御すると共に前記移動手段に出力する移動指令の前記所定時間毎の送り量を制御するようにしたことを特徴とするワイヤ放電加工機の制御装置。

【請求項 10】 前記比較手段による比較結果に基づいて、冷却液量を制御

する請求項 8 又は請求項 9 記載のワイヤ放電加工機の制御装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明はワイヤ放電加工機の制御装置に係わり、特に加工速度向上と加工精度の向上を可能とする制御方法に関するものである。

【0002】

【従来の技術】

図 1 7 は従来のワイヤ放電加工機の制御装置の概要を示す図である。放電パルス発生装置 1 は放電加工を行うため、ワイヤ状電極 4 と被加工物 5 間の間隙に電圧を印加するもので、直流電源、トランジスタ等のスイッチング素子からなる回路やコンデンサの充放電回路などで構成している。検出電圧発生装置 2 はワイヤ状電極 4 と被加工物 5 間の間隙が放電可能か否かを検出するためにワイヤ状電極 4 と被加工物 5 間にパルス電圧を印加する装置で、トランジスタなどの能動素子と抵抗、コンデンサ等からなる回路、直流電源等で構成している。

【0003】

通電ブラシ 3 はワイヤ状電極に通電するためのもので、放電パルス発生装置 1 及び検出電圧発生装置 2 の一方の端子にそれぞれ接続している。また被加工物 5 は放電パルス発生装置 1 及び検出電圧発生装置 2 の他方の端子にそれぞれ接続されている。走行するワイヤ状電極 4 と被加工物 5 間には、放電パルス発生装置 1 及び検出電圧発生装置 2 から発生するパルス電圧が印加される。

【0004】

放電間隙検出装置 6 は被加工物 5 とワイヤ状電極 4 に接続され、検出電圧発生装置 2 からの検出パルス電圧の推移によって放電間隙が放電可能状態かを判断して放電パルス投入信号を生成する。さらに送り制御のために数 μ 秒から数十 μ 秒以上のパルス状間隙電圧を基準電圧と比較して送りパルス演算装置の処理速度に整合するための平均化処理回路 2 2 を通して、基準電圧設定装置 2 3 の出力と比較し電圧偏差を得る。そしてこの電圧偏差に基づいて送りパルス演算装置 2 4 は送りパルス間隔を制御したパルス列を生成し、送りパルス分配装置 1 2 に出力す

る。送りパルス分配装置 1 2 はこのパルス列より加工プログラムにしたがって X 軸、Y 軸の駆動パルスに分配し被加工物 5 を載置したテーブルを駆動する X 軸モータ制御装置 1 0、Y 軸モータ制御装置 1 1 に出力する構成となっている。

【 0 0 0 5 】

まず、前述のように被加工物 5 とワイヤ状電極 4 との間で放電可能か否かを検出するために、検出電圧発生装置 2 より検出パルス電圧を発生させて被加工物 5 とワイヤ状電極 4 との間隙に印加する。被加工物 5 とワイヤ状電極 4 との間に通電を生じ、被加工物 5 とワイヤ状電極 4 との間に電圧降下が生じると、放電間隙検出装置 6 は、この電圧降下を検出し放電可能と判断し、放電パルス発生装置 1 に放電パルス投入信号を送り、該放電パルス発生装置 1 より放電パルスを発生させて、上記被加工物 5 とワイヤ状電極 4 の間隙に放電パルス電流を流す。しかる後に間隙が冷却する適当な休止時間を経て、再度上記検出パルスを上記間隙に印加する。この動作サイクルをくり返し実行し放電加工を行う。

【 0 0 0 6 】

このようにして被加工物 5 から放電パルス発生ごとにその被加工物 5 の一部を除去する加工を行う。即ち、検出パルス電圧によって、対向するワイヤ状電極 4 と被加工物 5 との間隙に形成する数十 μ m 以下の微小な導電路を捜し、即座に放電パルス電流を投入して加熱、蒸散又は溶融飛散することによって放電を開始させる。放電パルス一発の除去量や加工性能は放電パルス電流の大きさやワイヤ状電極 4 及び被加工物 5 の材料の融解熱や熱伝導率、融解時の粘度などの特性と冷却液（加工液）による冷却やスラッジ排出に関連する特性等によって異なる。また前述の放電生成から次なる放電は主に放電終了直後の発生スラッジを介した微小導電路の多く存在する近傍で集中して発生する傾向がある。そのため次々に発生する放電が一ヶ所に集中しないように的確なサーボ送り制御と休止時間制御が必要となる。

【 0 0 0 7 】

図 1 8 は、図 1 2 に示すダイス鋼の角柱を従来方法によって切り出した時の加工電圧と加工電流及び加工速度のモニタ波形を示す図である。加工方向が直角に変わるコーナは一瞬、間隙分だけ空送りすることになる。そのために加工電流は

減少して加工電圧も高くなる。したがって送り速度指令が大きくなる。方向変更後はワイヤ状電極と被加工物は必要以上に近接して間隙が狭まり、スムーズなスラッジの排出が行われなない。その結果スラッジ密度が高かまって放電集中を起こして短絡したり、ワイヤ状電極が断線するようになる。そのため従来制御ではコーナ直後から一定の期間又は距離でサーボ送り（ワイヤ状電極と被加工物の相対的な送り）や放電休止時間、さらには加工液の液圧を予め加工確認して評価した別処理を追加する必要があった。しかも被加工物の板厚変化やコーナ形状に対応する精度補正が非常に煩雑で困難な処理になっていた。

【 0 0 0 8 】

【発明が解決しようとする課題】

従来の送り制御は前述のように検出が間隙電圧で行うため送りの正確さに欠け、特にワイヤ状電極を強く張った状態では断線し易く加工速度向上の要望に応えることができなかった。また加工形状の特にコーナ部などでは断線し易く、これを防止するために予め送り速度や加工電流を落とすなどのコーナ制御処理など追加する必要があった。本発明はこのような課題を解決することを目的とするものである。

【 0 0 0 9 】

【課題を解決するための手段】

本発明は、ワイヤ状電極と被加工物とを相対移動させながら、前記ワイヤ状電極と被加工物との間に放電パルス電流を投入して放電加工を行うワイヤ放電加工機の制御装置であって、投入した放電パルス数を所定時間ごとに計数する放電パルス数計数手段、又は、この放電パルス電流を積分演算する放電パルス電流積分演算手段を設けると共に、移動指令に基づいて前記ワイヤ状電極と被加工物を加工経路に沿って相対移動させる移動手段と、基準となる放電パルス数又は基準放電パルス電流積分値を記憶する記憶手段を設け、さらに、前記放電パルス数計数手段又は放電パルス電流積分演算手段が得た数値と前記基準放電パルス数又は積分値との比率を求め、設定送り速度と前記所定時間とで求まる前記ワイヤ状電極と被加工物の相対移動距離に前記比率を乗じて求めた距離を移動指令として前記所定時間毎前記移動手段に出力するようにした。

【 0 0 1 0 】

又、所定時間ごとの放電パルス数と基準放電パルス数に応じて、所定時間ごとの放電パルス数が基準放電パルス数と一致するように、放電休止時間を制御する手段を設けて、若しくは、所定時間ごとの放電パルス電流積分値と基準放電パルス電流積分値に応じて、所定時間ごとの放電パルス数が基準放電パルス数と一致するように、放電休止時間を制御する手段を設けて、エネルギーの余剰投与を防止するようにした。

【 0 0 1 1 】

さらには、所定時間毎の放電パルス数又は放電パルス電流積分値と基準放電パルス数又は基準積分値との比率に基づいて、冷却液量を増減するようにした液量制御装置を設けて、冷却液量をも制御した。

【 0 0 1 2 】

【発明の実施の形態】

まず、本発明の動作原理について説明する。図3は、ワイヤ放電加工における投入加工エネルギーと加工量の関係の説明図である。被加工物5に対して、 Δ_S 部分と Δ_X 部分の加工が行われた場合、次の関係式が成り立つ。

$$P_S * w = \Delta_S * t * g$$

$$P_X * w = \Delta_X * t * g$$

ここで、 t は被加工物5の板厚、 P_S 及び P_X はそれぞれの部分において単位時間 T に発生する放電パルス数、 w は放電パルス1発あたりの加工量、 Δ_S は放電パルス数 P_S で移動できる距離、 Δ_X は放電パルス数 P_X で移動できる距離、 g は加工溝幅である。

【 0 0 1 3 】

板厚 t に変化がないことを条件として加工溝幅 g を一定とすれば次式を得る。

$$P_S / P_X = \Delta_S / \Delta_X \quad \cdots \cdots (1)$$

即ち、単位時間 T 当たりの放電パルス数の変化とそれによる送り移動量の変化をそれぞれ等しくなるように送ることができれば加工溝幅 g は一定になることを意味する。

【 0 0 1 4 】

単位時間 T 当たりの基準移動量 Δ_S は設定入力する基準となる設定送り速度 SPD から次式により得る。

$$\Delta_S = SPD * T \quad \dots\dots (2)$$

(1) 式と (2) 式から移動量 Δ_X は次式より得る。

$$\Delta_X = SPD * T * (P_X / P_S) \quad \dots\dots (3)$$

なお、上記 (3) 式は、設定送り速度 SPD が変更され、 $SPD * (P_X / P_S)$ の送り速度にすることを意味する。

図4は横軸を移動量 Δ 、縦軸を放電パルス数 P として (1)、及び (3) 式の関係を表している。基準となる放電パルス数 P_S と基準となる設定送り速度 SPD を予め点線のごとく設定すれば加工中の時々刻々変化する単位時間 T 当たりの放電パルス数 P_X を計数することによって移動量 Δ_X を生成することができる。

【0015】

次に、休止時間の制御について説明する。

図7は、休止時間を説明するための被加工物5の加工状態と被加工物5とワイヤ状電極間における加工電圧、電流の状態を示す図である。

図7において、 P_X 及び P_{X+1} は Δ_X 及び Δ_{X+1} 位置での単位時間 T あたりの放電パルス数、 V_X 、 V_{X+1} はそれぞれの平均加工電圧、 V_P は無負荷電圧、 T_{ON} は電流パルス中、 T_{OFF} は休止時間、 $T_W(X)$ 及び $T_W(X+1)$ はそれぞれ単位時間 T あたりの平均無負荷時間とする。又、 P_S 、 V_S 、 $T_W(S)$ は、単位時間 T あたりの基準となる放電パルス数、平均加工電圧、平均無負荷時間とする。

$$P_X = T / (T_W(X) + T_{ON} + T_{OFF})$$

$$P_{X+1} = T / (T_W(X+1) + T_{ON} + T_{OFF})$$

$$P_S = T / (T_W(S) + T_{ON} + T_{OFF})$$

$$V_X = V_P * T_W(X) / (T_W(X) + T_{ON} + T_{OFF})$$

$$V_{X+1} = V_P * T_W(X+1) / (T_W(X+1) + T_{ON} + T_{OFF})$$

$$V_S = V_P * T_W(S) / (T_W(S) + T_{ON} + T_{OFF})$$

さらに、 $T_{ON} \ll T_W + T_{OFF}$ として、それぞれの $T_W + T_{ON} + T_{OFF}$ を実質の休止時間 τ に置き換え上式を整理する。

$$T_W(X) + T_{OFF} = \tau_X \quad \dots\dots (4)$$

$$T_W(X+1) + T_{OFF} = \tau_{X+1} \quad \dots\dots (5)$$

$$T_W(S) + T_{OFF} = \tau_S \quad \dots\dots (6)$$

$$P_X = T / \tau_X \quad \dots\dots (7)$$

$$P_{X+1} = T / \tau_{X+1} \quad \dots\dots (8)$$

$$P_S = T / \tau_S \quad \dots\dots (9)$$

$$V_X = V_P * (\tau_X - T_{OFF}) / \tau_X = V_P * (1 - T_{OFF} / \tau_X) \quad \dots\dots (10)$$

$$V_{X+1} = V_P * (\tau_{X+1} - T_{OFF}) / \tau_{X+1} = V_P * (1 - T_{OFF} / \tau_{X+1}) \quad \dots\dots (11)$$

$$V_S = V_P * (\tau_S - T_{OFF}) / \tau_S = V_P * (1 - T_{OFF} / \tau_S) \quad \dots\dots (12)$$

またそれぞれの単位時間Tあたりの平均加工電流 $I_m(S)$ 、 $I_m(X)$ 、 $I_m(X+1)$ 、及び平均加工電流密度 $I_d(S)$ 、 $I_d(X)$ 、 $I_d(X+1)$ は次式により得られる。なお t は板厚、 g は加工溝幅である。

$$I_m(S) = I_p * T_{ON} * P_S \quad \dots\dots (13)$$

$$I_d(S) = I_m(S) / (t * g) \quad \dots\dots (14)$$

$$I_m(X) = I_p * T_{ON} * P_X \quad \dots\dots (15)$$

$$I_d(X) = I_m(X) / (t * g) \quad \dots\dots (16)$$

$$I_m(X+1) = I_p * T_{ON} * P_{X+1} \quad \dots\dots (17)$$

$$I_d(X+1) = I_m(X+1) / (t * g) \quad \dots\dots (18)$$

前記(3)式と上式により次式を得る。

$$\Delta_S / \Delta_X = P_S / P_X = I_d(S) / I_d(X) \quad \dots\dots (19)$$

$$\Delta_S / \Delta_{X+1} = P_S / P_{X+1} = I_d(S) / I_d(X+1) \quad \dots\dots (20)$$

即ち、この(19)式、(20)式が意味することは、前記(3)式に基づいて加工送りすると、単位時間Tあたりの平均加工電流密度も増減することを意味している。

【0016】

この点、図5について説明する。図5(a)は、横軸は放電間隙内のスラッジ

濃度 S_C 、縦軸は平均加工電圧 V_m である。グラフは放電加工時のスラッジ濃度 S_C と平均加工電圧の推移を表している。スラッジ濃度 S_C が高くなり始めるとスラッジを介した微小導電路が放電のきっかけとして数多く検出されて平均加工電圧 V_m はグラフのような曲線を辿ると考えられる。図 5 (b) について説明する。横軸は放電間隙内のスラッジ濃度 S_C 、縦軸は単位時間あたりに発生する放電パルス数 P と実質休止時間 τ である。グラフは放電加工時の時々刻々変化するスラッジ濃度 S_C と単位時間あたりの放電パルス数 P 及び実質休止時間 τ の推移を表している。スラッジ濃度 S_C が高くなり始めるとスラッジを介した微小導電路が放電のきっかけとして数多く検出されて放電パルスの投入が増加し、実質休止時間 τ が最小になるグラフのような曲線を辿る。無負荷時間 T_W も短くなり、前述の放電生成の特殊性から集中放電に移行して、ワイヤ断線や面荒さの悪化及び溝幅の不均一の原因となる。従来は予め休止時間 T_{OFF} を大き目に設定してこのような最悪の状況となるのを回避した。さらに被加工物端面の切込み時に加工面積が小さいために放電が集中したり、また放電部への加工液量が逃げて冷却が不足する場合も予め大き目の休止時間 T_{OFF} を設定していた。

【0017】

本発明ではかかる問題に対し放電パルス数が限度を越えて増加しないよう自動的に休止時間 (T_{OFF}) を変えることで解決した。図 6 (a) について説明する。

【0018】

横軸は実質の休止時間 τ 、縦軸は単位時間 T あたりの放電パルス数 P をとり、(8)、(9) 式を図示したものである。前記 (3) 式に基づいて加工すると単位時間 T あたりの放電パルス数 P と実質休止時間 τ は加工量とスラッジ濃度 S_C にしたがって図 6 (a) に示す実線を辿るようにして変化する。いま最適な放電パルス密度が得られる基準放電パルス数 P_S とその時の実質休止時間 τ_S を線上の B 点に設定して、基準放電パルス数 P_S を越える放電パルス数 P_{X+1} が発生する時の休止時間制御について説明する。

【0019】

図 6 (a) の $P_{X+1} > P_S$ なる A 点の放電パルス数 P_{X+1} を基準放電パル

ス数 P_S に近づけるようにするためには実質休止時間 τ_{X+1} と τ_S の差だけ、即ち無負荷休止時間 T_W が短くなった分だけ設定基準休止時間 $T_{OFF}(S)$ を図 8 のように延長すればよい。図 8 は、ワイヤ状電極と被加工物間の電圧波形を示す図であり、図 8 (c) は図 6 (a) における B 点の電圧波形で、基準電圧波形である。又、図 8 (b) は図 6 (a) における A 点の電圧波形で、本発明を適用する前の波形である。そして、図 8 (a) は図 6 (a) における本発明を適用したときの A 点の電圧波形を示すものである。この図 8 から明かのように、図 8 (b) では放電回数が多いが、図 8 (a) では少なくなっていることが分かる。

【0020】

制御する休止時間を $T_{OFF}(X+1)$ とすれば次式を得る。

$$\tau_S - \tau_{X+1} = T_{OFF}(X+1) - T_{OFF}(S) \quad \cdots \cdots (21)$$

$$\therefore T_{OFF}(X+1) = \tau_S - \tau_{X+1} + T_{OFF}(S) \quad \cdots \cdots (22)$$

(8)、(9) 式より次式を得る。

$$T_{OFF}(X+1) = (1/P_S - 1/P_{X+1}) * T + T_{OFF}(S) \quad \cdots \cdots (23)$$

即ち、最適な放電パルス密度を得る B 点に一致させるよう休止時間を制御するには、B 点の基準となる放電パルス数 P_S の逆数と A 点における放電パルス数 P_{X+1} の逆数との差分を単位時間 T ごとに求め、その差分だけ基準休止時間 $T_{OFF}(S)$ から延長することにより達成される。

【0021】

次に図 6 (b) において基準放電パルス数 P_S を下回る C 点、即ち放電パルス数 P_X が発生する時の休止時間制御について説明する。図 6 (a) と同様に横軸は実質の休止時間 τ 、縦軸に放電パルス数 P 及び平均加工電圧 V_m をとり (7)、(9) 及び (10)、(12) からそれぞれのグラフを辿るようにして変化する。通常 C 点は加工量が少ないために、長い無負荷時間 $T_W(X)$ をもつ実質休止時間の長い放電パルスが図 9 (b) のように発生する。しかし、前述の放電生成の特殊性からスラッジを介する無負荷時間 $T_W(x)$ の短い放電パルスの連続する可能性も内包してワイヤ断線の原因となっていた。即ち平均加工電圧の C' 点から B' 点を越えて瞬時に電圧が低下、無負荷時間 $T_W(X)$ の短い放電パル

スが間隙に投入される現象をよく観察する。したがってこの短い放電パルスが間隙に投入されないようにするには平均加工電圧が加工中にB'点を越えて低下しても実質休止時間 τ_X が τ_S を越えてそれ以下にならないよう図9で示すように予め休止時間を延長しておけば本目的は達成される。

【0022】

即ち、点B'とC'の平均加工電圧を等しくすることから制御する休止時間を $T_{OFF}(X)$ とすれば(10)、(12)式より次式を得る。

$$V_P * (\tau_X - T_{OFF}(X)) / \tau_X = V_P * (\tau_S - T_{OFF}(S)) / \tau_S \quad \dots\dots (24)$$

$$\therefore T_{OFF}(X) = T_{OFF}(S) * \tau_X / \tau_S \quad \dots\dots (25)$$

(7)、(9)式より整理すれば次式を得る。

$$T_{OFF}(X) = T_{OFF}(S) * (P_S / P_X) \quad \dots\dots (26)$$

即ち、基準休止時間 $T_{OFF}(S)$ に基準となる放電パルス数 P_S と放電パルス数 P_X の比率の逆数を乗じた値に休止時間 $T_{OFF}(X)$ を変更することにより本目的は達成される。このように(23)式、(26)式に基づく評価関数に基づいて、予めエネルギーの余剰投入を抑えるように放電休止時間を制御する。

【0023】

図9は、ワイヤ状電極と被加工物間の電圧波形を示す図であり、図9(c)は図6(b)におけるB点の電圧波形で、基準電圧波形である。又、図9(b)は図6(b)におけるC点の電圧波形で、本発明を適用する前の波形である。そして、図9(a)は図6(b)における本発明を適用したときのC点の電圧波形を示すものである。

【0024】

加工開始時やコーナ部でのから送りが生じる部分の加工では、ワイヤ状電極と被加工物間に電圧を印加しても放電が発生しにくく(無負荷休止時間 T_W が大きい)、放電パルス数 P_X は基準パルス数 P_S よりも小さい。そのため、(26)式で求められる休止時間 $T_{OFF}(X)$ は、基準の休止時間 $T_{OFF}(S)$ よりも大きなものとなる。しかし、その間被加工物に対してワイヤ状電極は相対的に移動してそのギャップは小さくなることから、無負荷休止時間 T_W が小さくなり

放電が早く生じ単位時間 T 内の放電パルス数 P_s は増加することになる。放電パルス数 P_s が増加すれば、(26)式で求められる休止時間 $T_{OFF}(X)$ は短くなり、基準の休止時間 $T_{OFF}(S)$ に近づいてくる。

【0025】

放電パルス数 P_x が基準パルス数 P_s を越えると、(23)式の演算によって、休止時間 $T_{OFF}(X)$ が求められ、この休止時間 $T_{OFF}(X)$ は、基準の休止時間 $T_{OFF}(S)$ より長くなる。休止時間 $T_{OFF}(X)$ が長くなればなるほど放電パルス数 P_x は小さくなる方に作用する(無負荷休止時間 T_W が一定であるとする)、休止時間 $T_{OFF}(X)$ が長くなれば放電パルス数 P_x は小さくなる)。

【0026】

このようにして、放電パルス数 P_x が基準パルス数 P_s に一致するように休止時間 $T_{OFF}(X)$ が制御されることになる。

【0027】

一方、放電パルス数に変動すれば、その放電によって加工される加工量、及び温度上昇が変動することになる。そこで、本発明は、単位時間 T あたりの放電パルス数の増減に伴う間隙の温度上昇を制御し、加工によって生じるスラッジを排出するための冷却液(加工液)の液量(流量)を制御する。すなわち、単位時間 T あたりの放電パルス数が増大し加工量が多い時には間隙の温度上昇を抑えるために冷却液量を増大し、スムーズにスラッジを排除する。また加工量が小さく単位時間 T あたりの放電パルス数が少ない時は冷却液量を少なくして過冷却を防ぎ、ワイヤの振動を抑制して放電を安定させる。

【0028】

図10、図11は、加工状態と冷却液量の関係を説明するための説明図である。この図10から次の関係を得る。

$$P_S \propto Q_S / w \quad \dots\dots (27)$$

$$P_X \propto Q_X / w \quad \dots\dots (28)$$

$$Q_X / FR_X \propto Q_S / FR_S \quad \dots\dots (29)$$

ここで w は放電パルス1発あたりのスラッジ量、 Q_S 、 Q_X は放電パルス数 P

S 、 P_X で除去されるスラッジ量、 FR_S 、 FR_X はそれぞれの液量である。

上式(27)、(28)、(29)より次式を得る。

$$FR_X \propto FR_S * (P_X / P_S) \quad \dots\dots (30)$$

即ちスラッジの量に応じて液量を制御するには基準となる設定 FR_S に基準となる放電パルス数 P_S と変化時の放電パルス数 P_X の比率を乗じた値になるような評価関数を作成して液量 FR_S を変更することにより達成される。

【0029】

以上説明した本発明の原理に基づいて、以下本発明の実施形態を説明する。

図1は本発明の一実施形態のワイヤ放電加工機の制御装置の要部を示すブロック図である。なお、図17に示した従来例と同一の要素は同一符号を付している。図1において1は放電パルス電流を生成するトランジスタなどの能動素子からなる回路、コンデンサの充放電回路、直流電源等から構成する放電パルス発生装置で、出力の一方は上下にある通電ブラシ3に接続され、他方は被加工物5に接続され、走行するワイヤ状電極4と被加工物5の間に放電パルス電流を供給する。2は間隙の状況を検出するための検出電圧を生成するトランジスタなどの能動素子と抵抗、コンデンサ等からなる回路、直流電源等から構成する検出電圧発生装置で、出力の一方は被加工物5に接続され、もう一方は上下にある通電ブラシ3に接続されている。被加工物5を搭載したテーブル(図示せず)は、移動手段を構成するX軸駆動モータ制御装置10、Y軸駆動モータ制御装置11及び送りパルス分配装置12によって駆動制御される。

【0030】

6は検出電圧によって間隙が放電可能か否かを判別する放電間隙検出装置で、入力的一方は被加工物5に接続され、もう一方は上下にある通電ブラシ3に接続されている。そして放電可能と判断されたとき放電パルス投入信号を放電パルス発生装置1に出力する。同時に放電パルス数計数装置7にも出力する。

【0031】

放電パルス数計数装置7は、演算クロック14から出力される単位時間(所定周期)T毎の信号に基づいて、該周期間の放電パルス投入信号を計数するものであり、実質的にワイヤ状電極4と被加工物5間に生じる放電パルスを計数するも

のである。

【0032】

8は予め入力する基準となる放電パルス数を記憶しておく基準放電パルス数記憶装置である。

放電パルス数比較判断装置9は、放電パルス数計数装置7で単位時間（所定周期） T 毎計数し記憶した放電パルス数 P_x と基準放電パルス数記憶装置8にから入力される予め記憶している基準放電パルス数 P_s とを前記単位時間（所定周期） T 毎比較し、放電パルス数 P_x と基準放電パルス数 P_s 比率（ P_x/P_s ）を送りパルス演算装置13、放電休止時間制御装置16及び液量制御装置17に出力する。

【0033】

送りパルス演算装置13は、演算クロック14からの所定周期 T 毎の信号ごとに、送り速度設定手段15から送られてくる送り速度 SPD と所定周期 T より求められる距離（ $SPD * T$ ）に、放電パルス数比較判断装置9から送られてくる放電パルス数 P_x と基準放電パルス数 P_s との比率（ P_x/P_s ）を乗じて送り量（距離） Δx を求める。すなわち前記（3）式の演算を行って送り量 Δx を求め、この送り量 Δx だけのパルス列を、送りパルス分配装置12に出力する。送りパルス分配装置12は、このパルス列より加工プログラムに従ってX軸、Y軸の駆動パルスをX軸駆動モータ制御装置10、Y軸駆動モータ制御装置11に分配し、被加工物を搭載したテーブルを駆動するX軸モータ、Y軸モータをそれぞれ駆動する。

【0034】

放電休止時間制御装置16は放電パルス数比較判断装置9から出力される比率（ P_x/P_s ）に応じて、 $P_x \leq P_s$ の場合には、（26）式の演算を行い、 $P_x > P_s$ の場合には、（23）式の演算を行い、休止時間 T_{OFF} を求め、検出電圧発生装置2に出力する。検出電圧発生装置2は、この休止時間 T_{OFF} だけ休止した後に、ワイヤ状電極4と被加工物5間に電圧を印加することになる。このようにして、予めエネルギーの余剰投入を抑えるように設定した評価関数に基づき放電休止時間を制御する。

又、液量制御装置 1 7 は放電パルス数比較判断装置 9 から出力される放電パルス数 P_x と基準放電パルス数 P_s 比率 (P_x / P_s) に基づいて、(30) 式で示されるような評価関数に基づいて液量を制御する。

【 0 0 3 5 】

以上のようにして、所定時間毎に、放電パルス数 P_x と基準放電パルス数 P_s との比率 (P_x / P_s) 等に基づいて、移動距離、休止時間、冷却液量が制御されエネルギーの過剰投入を抑え、加工速度を向上させると共に加工精度をも向上させることができた。

【 0 0 3 6 】

図 2 は本発明の第 2 の実施形態に係わるワイヤ放電加工機の制御装置の要部ブロック図である。図 1 に示す第 1 の実施形態と異なる部分のみを説明する。この第 2 の実施形態では、放電パルス数を計数記憶する代わりに放電パルス電流の積分値を電流検出回路 1 8 と放電パルス電流積分値演算記憶装置 1 9 とから求め、基準となる放電パルス数の代わりに基準放電パルス電流積分値記憶装置 2 0 を設け、そして比較する放電パルス電流積分値比較判断回路 2 1 によって送りパルス、放電休止時間、液量制御のための比率を演算出力する。

【 0 0 3 7 】

この第 2 実施形態では、放電パルス数の代わりに、放電パルス電流積分値を用いる点で相違するものであり、他は第 1 の実施形態と同一であり、動作作用、効果も同一である。

【 0 0 3 8 】

図 1 3 は $\phi 0.2 \text{ mm}$ (材質真鍮) のワイヤ状電極を使って板厚 60 mm の被加工物 (材質 SKD 1 1) に端面から切込み加工した時のモニタ波形である。

横軸は加工経過時間 (10 秒 / 目盛)、左側の縦軸に加工電圧 (V)、休止時間 (μ 秒)、単位時間あたりの放電パルス数を、右側の縦軸に加工速度 ($\text{mm} / \text{分}$)、加工電流 (A) を読む。加工経過時間にしたがって説明する。

【 0 0 3 9 】

モニタを始めてから 18 秒経過位までは加工電圧 70 V、休止時間は 12μ 秒、放電パルス数は 0 レベル、加工電流は 0 A、加工速度は $3.5 \text{ mm} / \text{分}$ で推移

、従来方法による加工送りを実行している。18秒から20秒に至るまでに加工電圧が60V以下まで下がり、加工電流が流れ始める。この時点を検出して本発明の送りが始まる。加工量が増えるにつれて放電パルス数も対応して徐々に増え、同時に休止時間も徐々に設定休止時間に漸近する。加工速度は約1mm/分から徐々に速度を上げ、約60秒後にほぼ目標の加工性能レベルに達している。この結果から端面切込みの際の課題である集中放電と加工液の逃げによる放電部分への液量不足などによる断線から回避できていることが確認できた。

【0040】

図14は図12に示すパンチ形状を切り取り加工した時のコーナ部分通過時のモニタ波形である。ワイヤ状電極は $\phi 0.2$ mm（材質真鍮）、被加工物は板厚60mm（材質SKD11）である。横軸は加工経過時間（10秒/目盛）、左側の縦軸に加工電圧（V）、休止時間（ μ 秒）、単位時間あたりの放電パルス数を、右側の縦軸に加工速度（mm/分）、加工電流（A）を読む。加工時間の経過にしたがって説明する。

【0041】

モニタを始めてから26秒経過まではコーナ直前を示している。加工電圧は約42V、休止時間は約12 μ 秒、放電パルス数は約30レベル、加工電流は約3.6A、加工速度は約1.5mm/分で推移している。26秒過ぎで直角コーナに入り、約32秒経過時点で間隙分を追い込むまでに加工電圧は約50V、休止時間は約20 μ 秒、放電パルス数は約20レベル、加工電流は約2A、加工速度は約1mm/分に推移し、投入エネルギーを低下させている。

【0042】

その後、徐々に速度を上げて約60秒後にほぼコーナ直前の加工状態に復帰している。従来制御によるコーナでの課題、即ち送り過ぎと投入エネルギー過多による集中放電が回避されていることが確認できる。

【0043】

図15は $\phi 0.2$ mm（材質：真鍮）のワイヤ状電極を使って板厚60mmの被加工物（材質：ダイス鋼）を図16に示す1辺が10mmでピッチが1.5mmのジグザグ形状を約1時間に亘って連続加工を行い、加工電圧、加工電流、休

止時間、加工速度をモニタしたものである。横軸は加工経過時間（2分／目盛）、左側の縦軸に加工電圧（V）、休止時間（ μ 秒）を、右側の縦軸に加工速度（mm／分）、加工電流（A）を読む。加工時間の経過にしたがって説明する。加工スタートは端面からの切込みになるので本発明の制御により休止時間が約20 μ 秒に延長され、また対応して加工電流、加工速度もそれぞれ制御されている。加工速度の最大はコーナから約5mm程度のところで迎える。その時の加工電圧は約35V、休止時間は約10 μ 秒、加工電流は約6.7A、加工速度は約2.6mm／分である。コーナ通過直後は本発明の制御により加工電圧が約47V前後まで上がるが、加工速度は逆に約1.5mm／分に低下し、加工電流は約3.6Aに減少している。

【0044】

このように従来制御における課題、即ち被加工物端面の切込み加工直後、及びコーナ通過直後における断線回避が本発明による長時間に亘る加工で確認されている。

【0045】

【発明の効果】

本発明にて放電パルス数に対応する加工送りが実現できたので次の効果が得られた。

- ①. 最適な加工電流を維持することが可能となり、
- ②. 加工量の変化する切込み開始時やコーナ通過直後などでのワイヤ断線を回避できた。
- ③. 高いワイヤ張力での加工速度が大幅に向上した。
- ④. コーナ部の加工精度が向上した。
- ⑤. 加工拡大しろのばらつきが少なくなった。

【図面の簡単な説明】

【図1】

本発明の実施例を示すワイヤ放電加工機の制御装置の要部ブロック図である。

【図2】

本発明の他の実施例を示すワイヤ放電加工機の制御装置の要部ブロック図であ

る。

【図 3】

加工量変化による移動量の生成を説明するための図である。

【図 4】

加工量変化に対する移動量の説明図である。

【図 5】

スラッジ濃度と平均加工電圧、放電パルス数、実質休止時間の関係を説明する図である。

【図 6】

実質休止時間と放電パルス数、平均加工電圧の関係を説明するための図である。

【図 7】

休止時間と加工量等の関係を説明するための図である。

【図 8】

図 6 (a) における A 点での休止時間制御を説明するための図である。

【図 9】

図 6 (b) における C 点での休止時間制御を説明するための図である。

【図 10】

加工量変化による液量の制御を説明するための図である。

【図 11】

同加工量変化による液量の制御を説明するための図である。

【図 12】

図 13、図 14、図 18 のモニタ波形を取得したときの被加工物の形状である。

【図 13】

図 12 に示す形状を加工したときの加工開始直後の加工電圧、加工電流、放電パルス数、加工速度、休止時間のモニタ波形である。

【図 14】

図 12 に示す形状を加工したときのコーナ通過直後の加工電圧、加工電流、放

電パルス数、加工速度、休止時間のモニタ波形である。

【図 1 5】

図 1 6 の形状を加工した時の加工電圧、加工電流、放電パルス数、加工速度、休止時間のモニタ波形である。

【図 1 6】

加工形状の例を示す図である。

【図 1 7】

従来の放電加工機の制御装置の要部ブロック図である。

【図 1 8】

従来の放電加工機にて図 1 2 を加工したときの加工電圧、加工電流、放電パルス数、加工速度、休止時間のモニタ波形である。

【符号の説明】

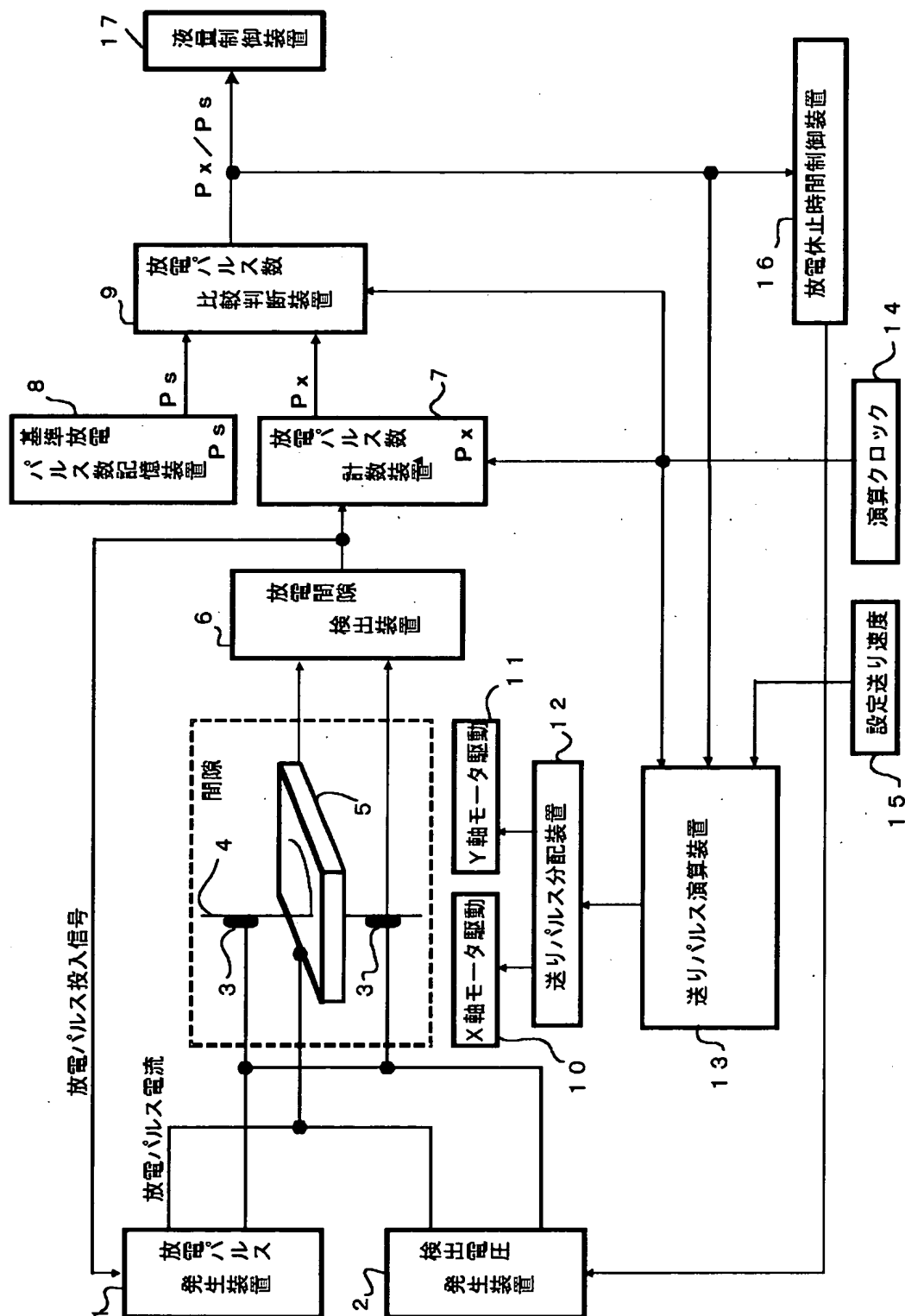
- 1 放電パルス発生装置
- 2 検出電圧発生装置
- 3 通電ブラシ
- 4 ワイヤ状電極
- 5 被加工物
- 6 放電間隙検出装置
- 7 放電パルス数計数装置
- 8 基準放電パルス数計数装置
- 9 放電パルス数比較判断装置
- 1 0 X 軸モータ駆動装置
- 1 1 Y 軸モータ駆動装置
- 1 2 送りパルス分配装置
- 1 3 送りパルス演算装置
- 1 4 演算クロック
- 1 5 送り速度設定手段
- 1 6 放電休止時間制御装置
- 1 7 液量制御装置

- 1 8 電流検出回路
- 1 9 放電パルス電流積分値演算記憶装置
- 2 0 基準放電パルス電流積分値記憶装置
- 2 1 放電パルス電流積分値比較判断装置

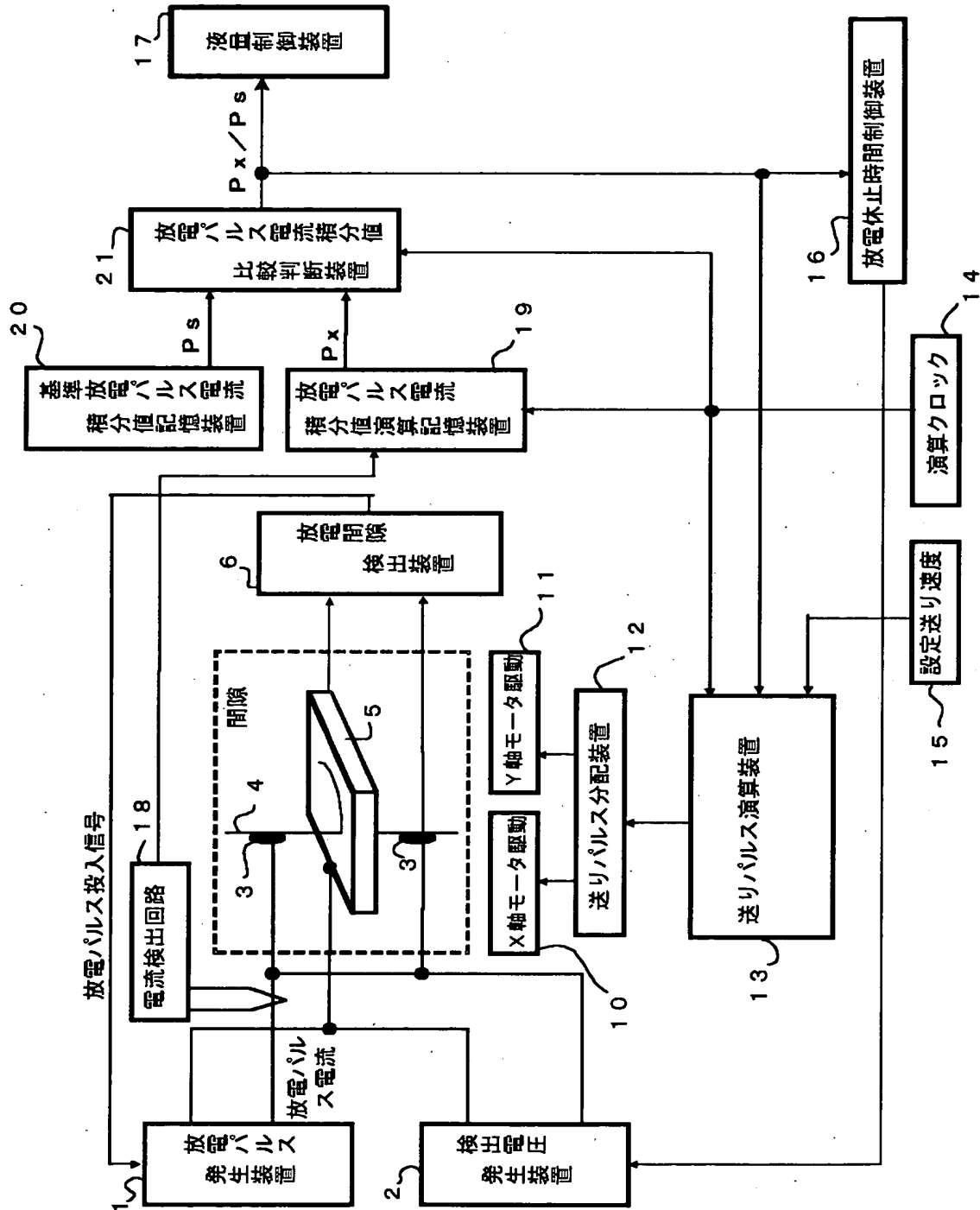
【書類名】

図面

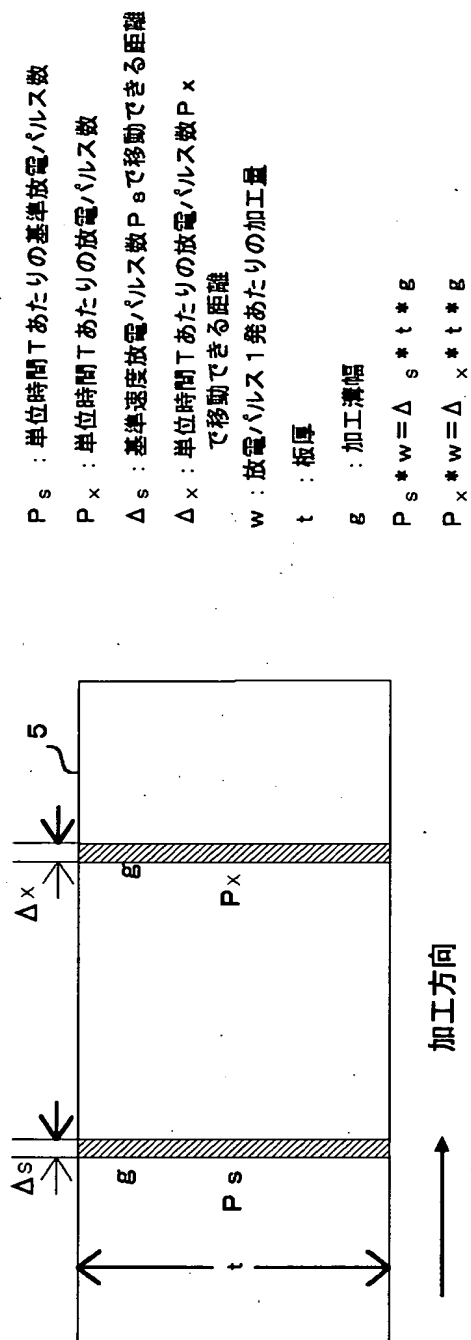
【図 1】



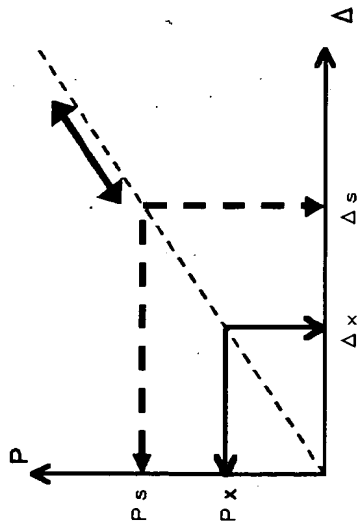
【図 2】



【図 3】



加工量変化による移動量の生成



【図 4】

SPD : 基準となる設定送り速度

Δ_s : 基準となる設定送り速度 SPD で与えられる
単位時間 T に移動できる距離 $\Delta_s = SPD * T$

P_s : 基準放電パルス数

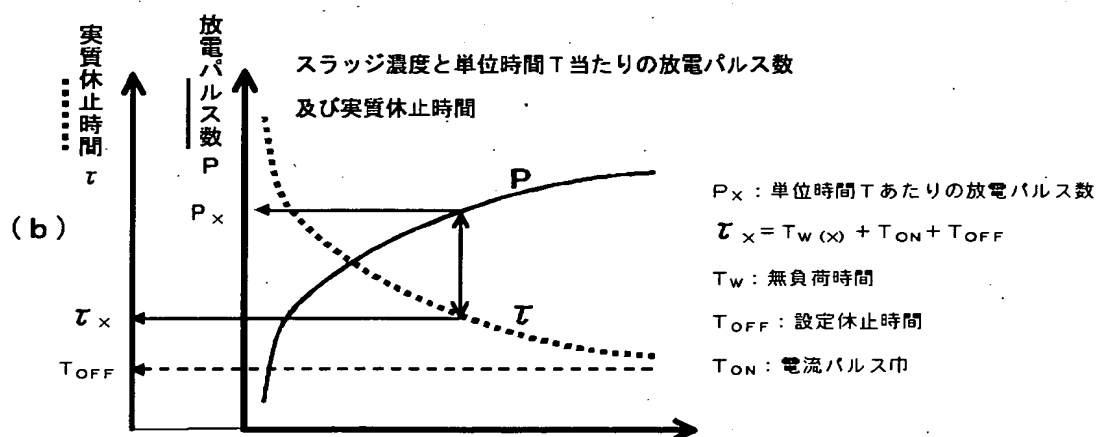
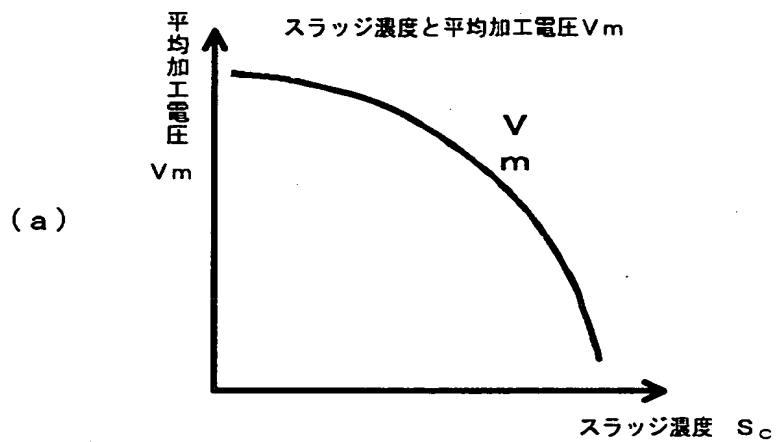
P_x : 単位時間 T あたりの放電パルス数

Δ_x : 単位時間 T あたりの放電パルス数 P_x
で移動できる距離

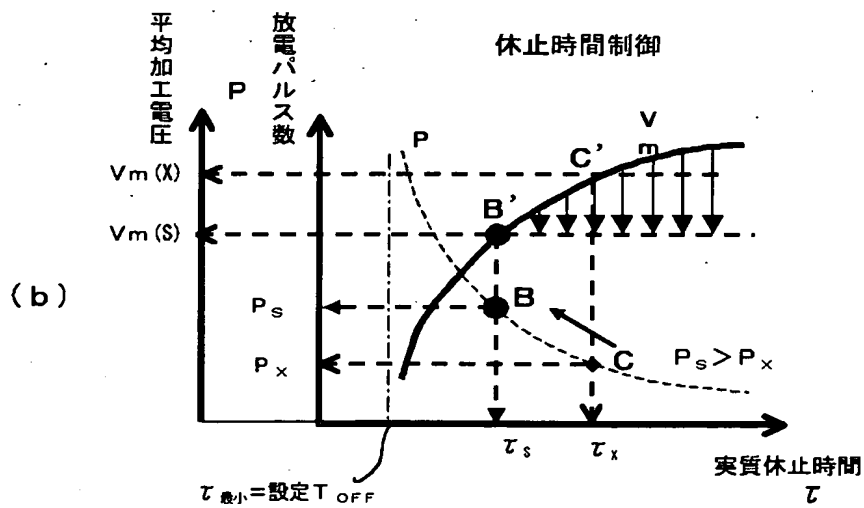
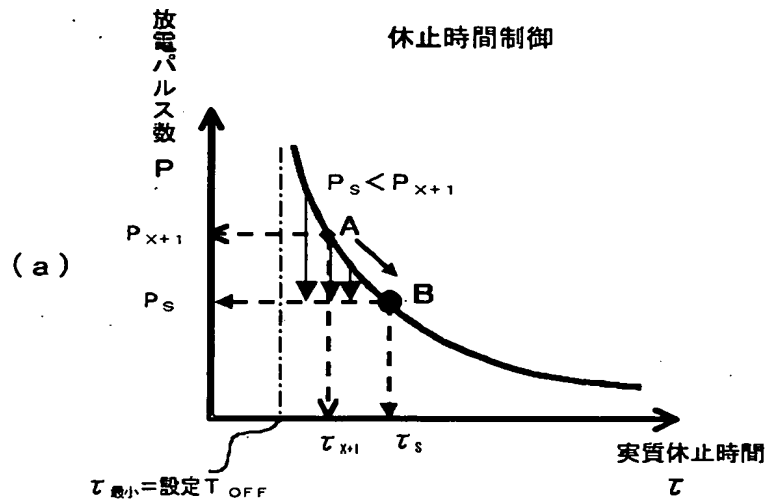
$$\Delta_x = \Delta_s * \Delta_x / P_s$$

$$= SPD * T * (P_x / P_s)$$

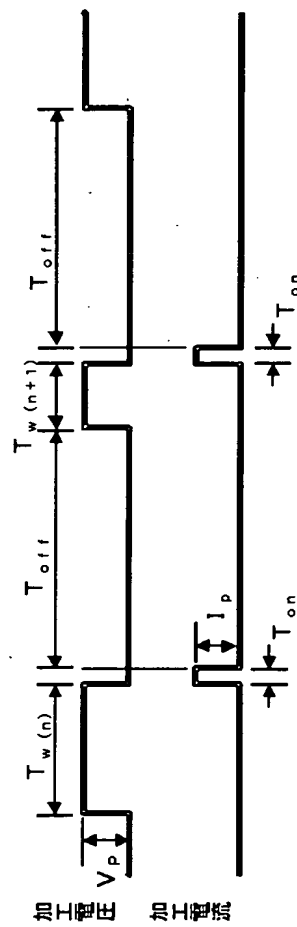
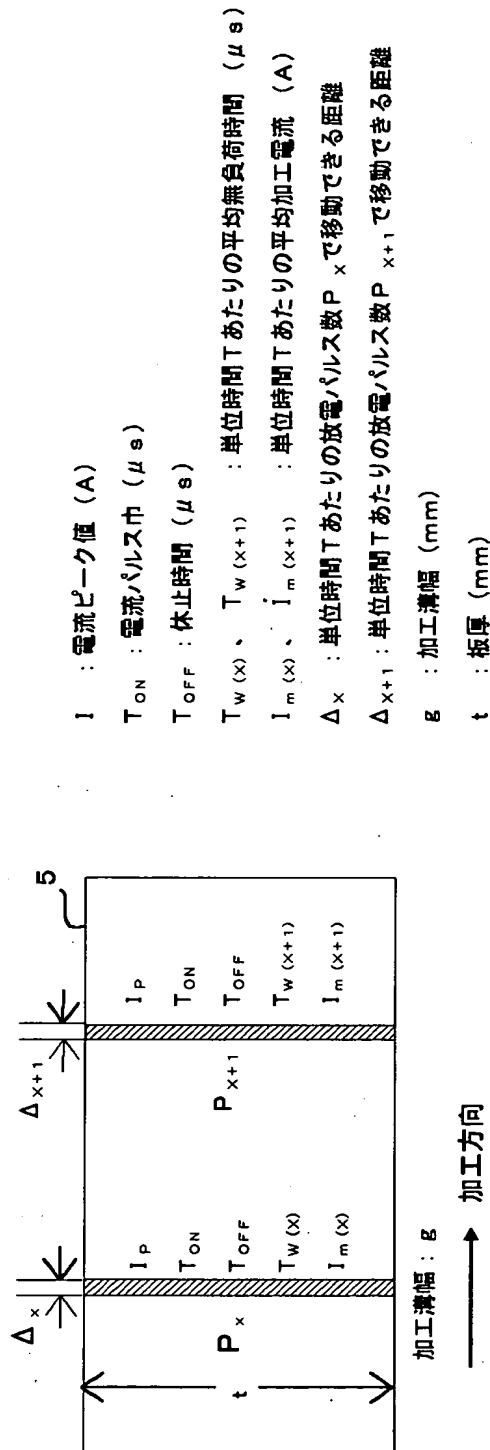
【図 5】



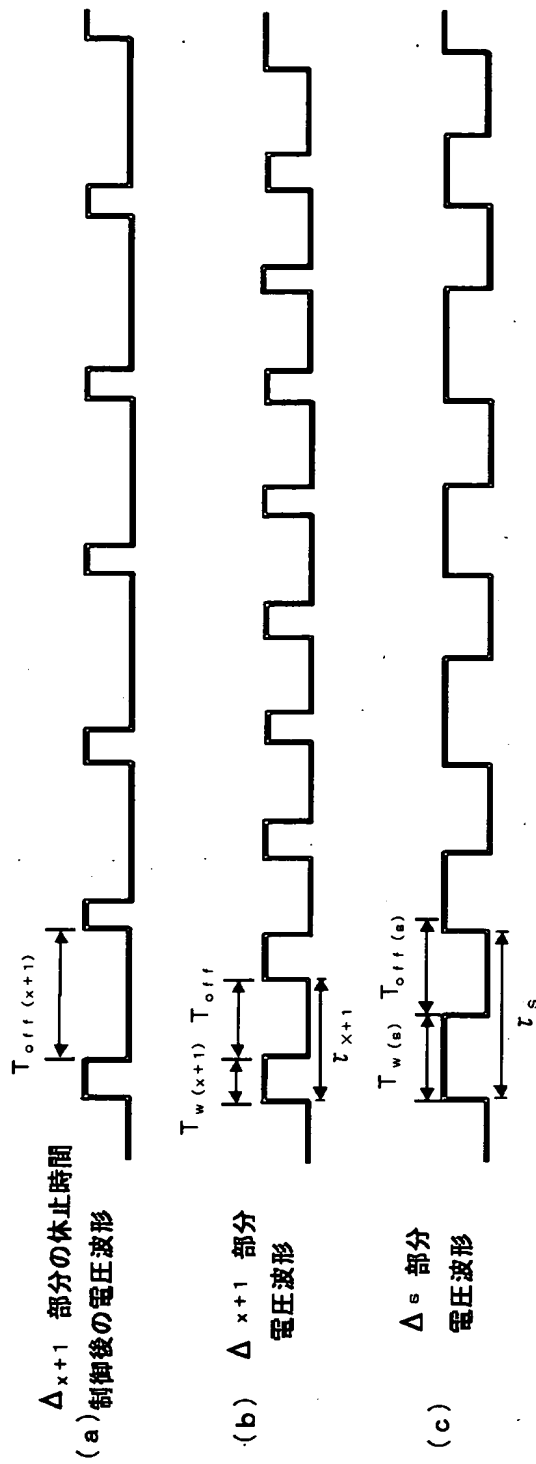
【図6】



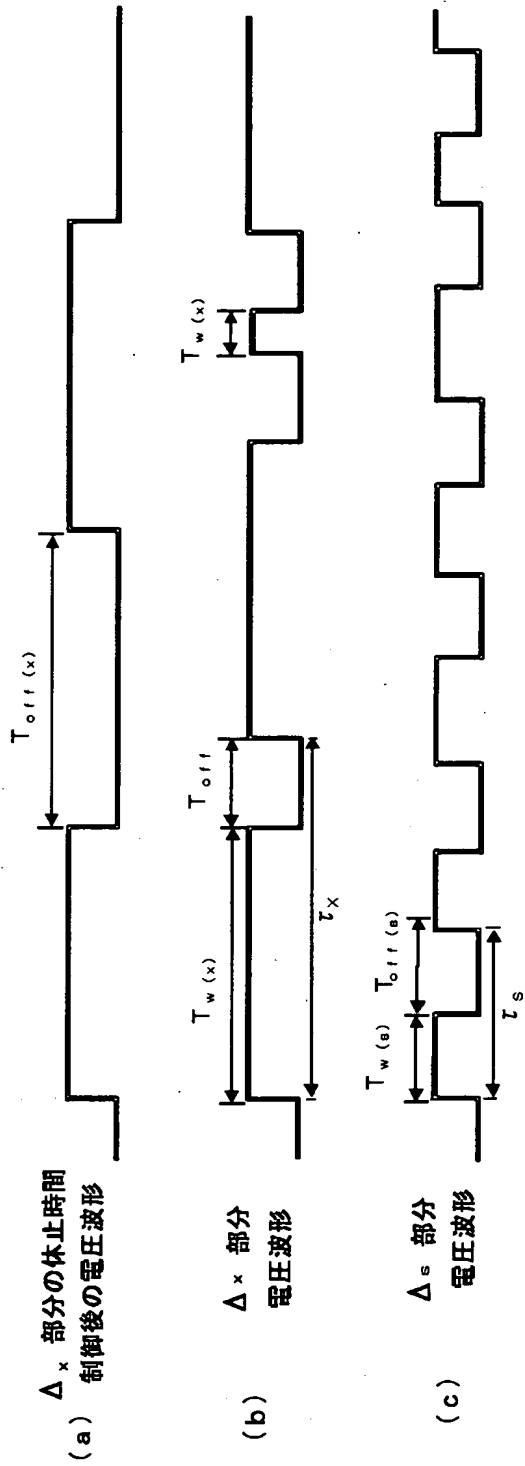
【図 7】



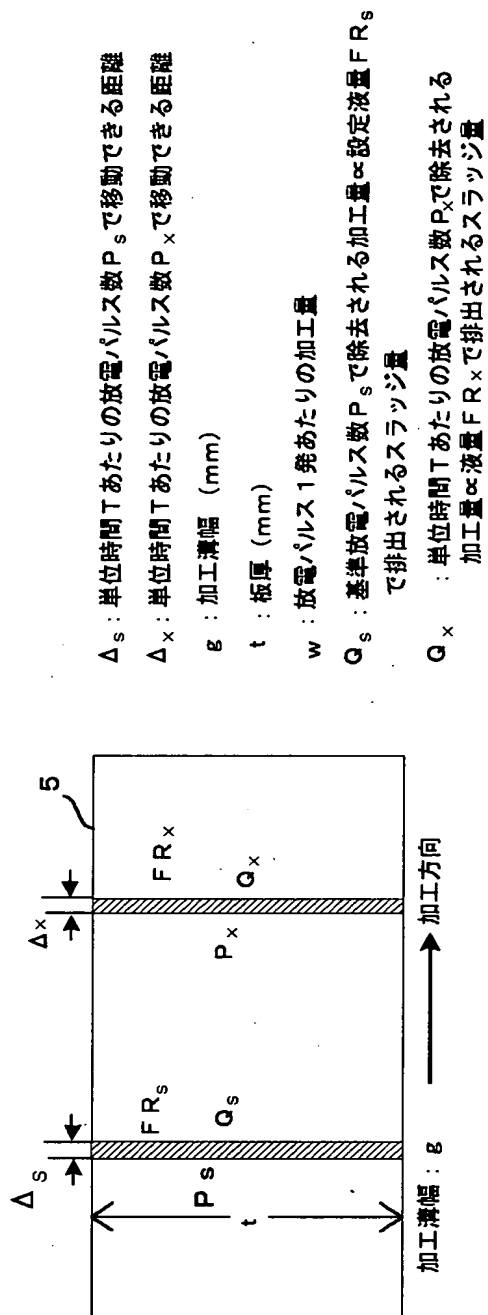
【図 8】



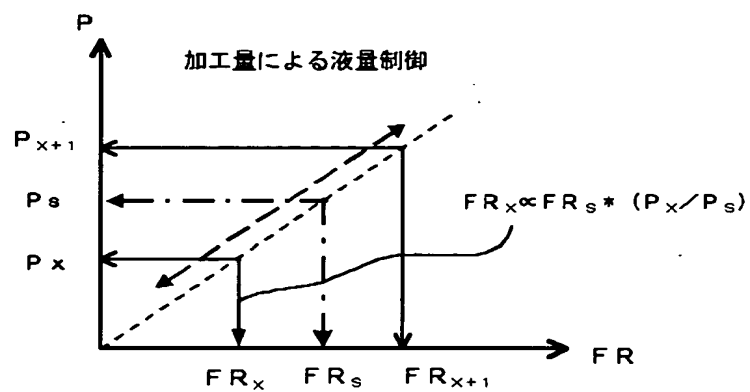
【図9】



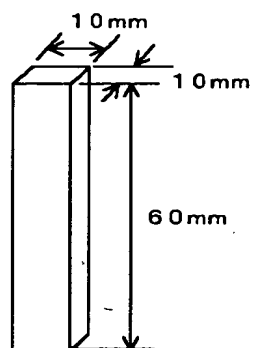
【図 10】



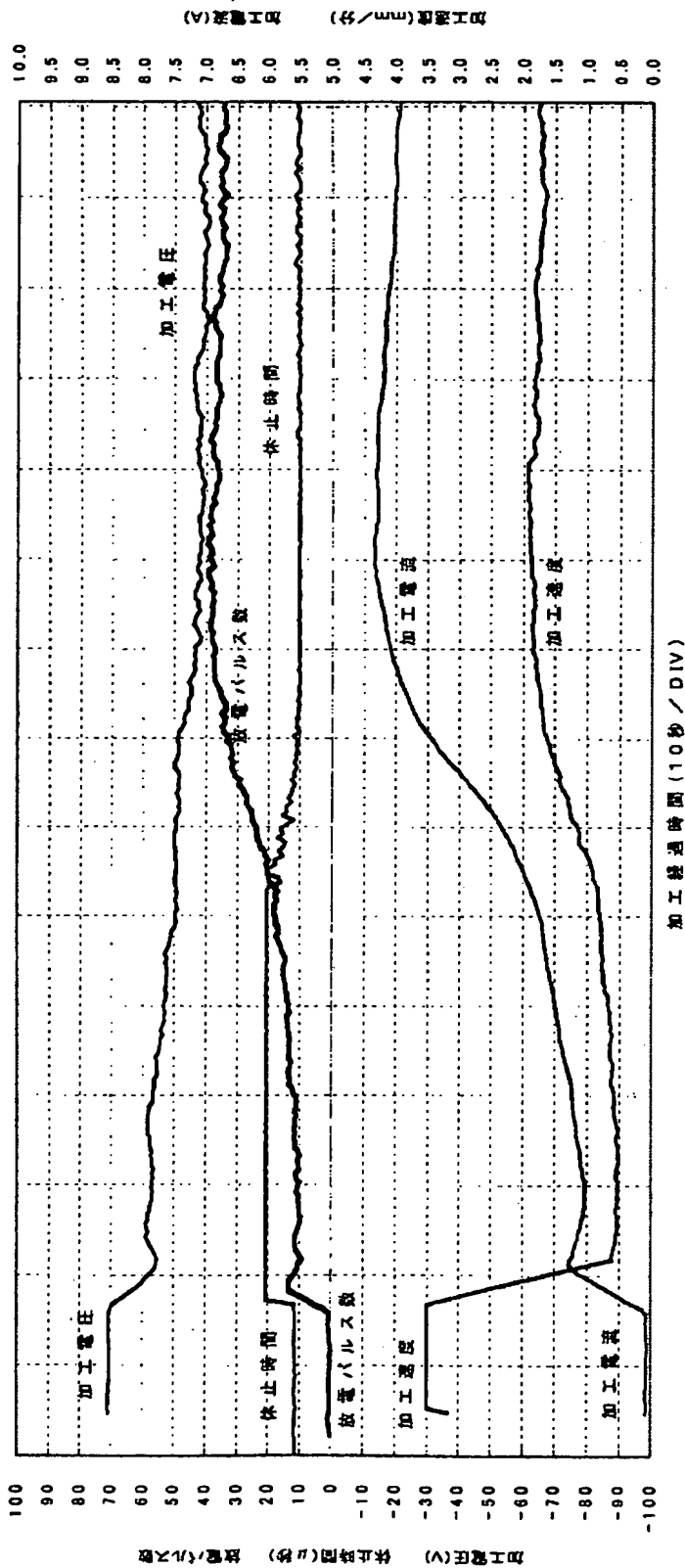
【図 1 1】



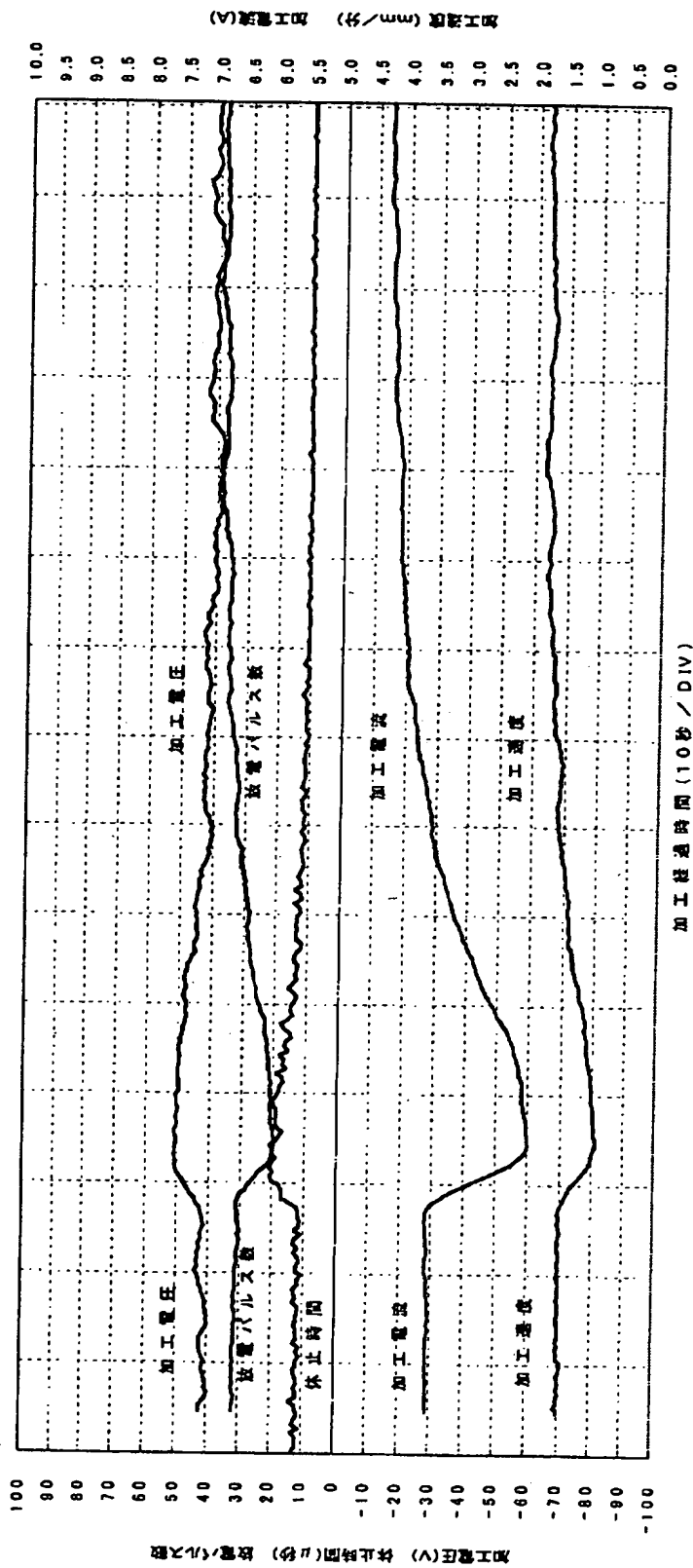
【図 1 2】



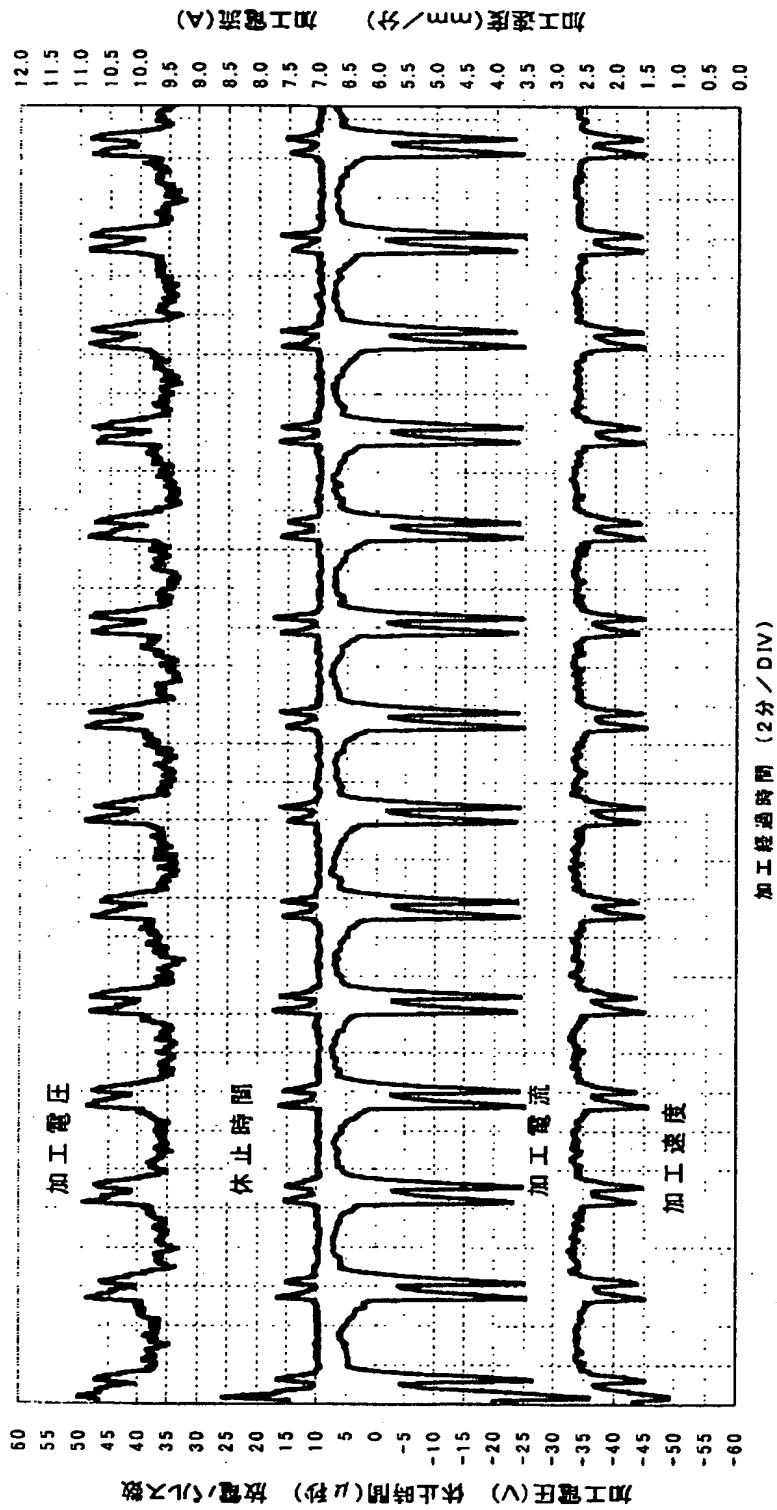
【図13】



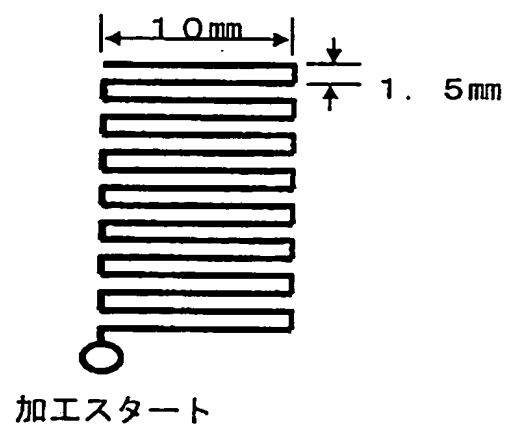
【図14】



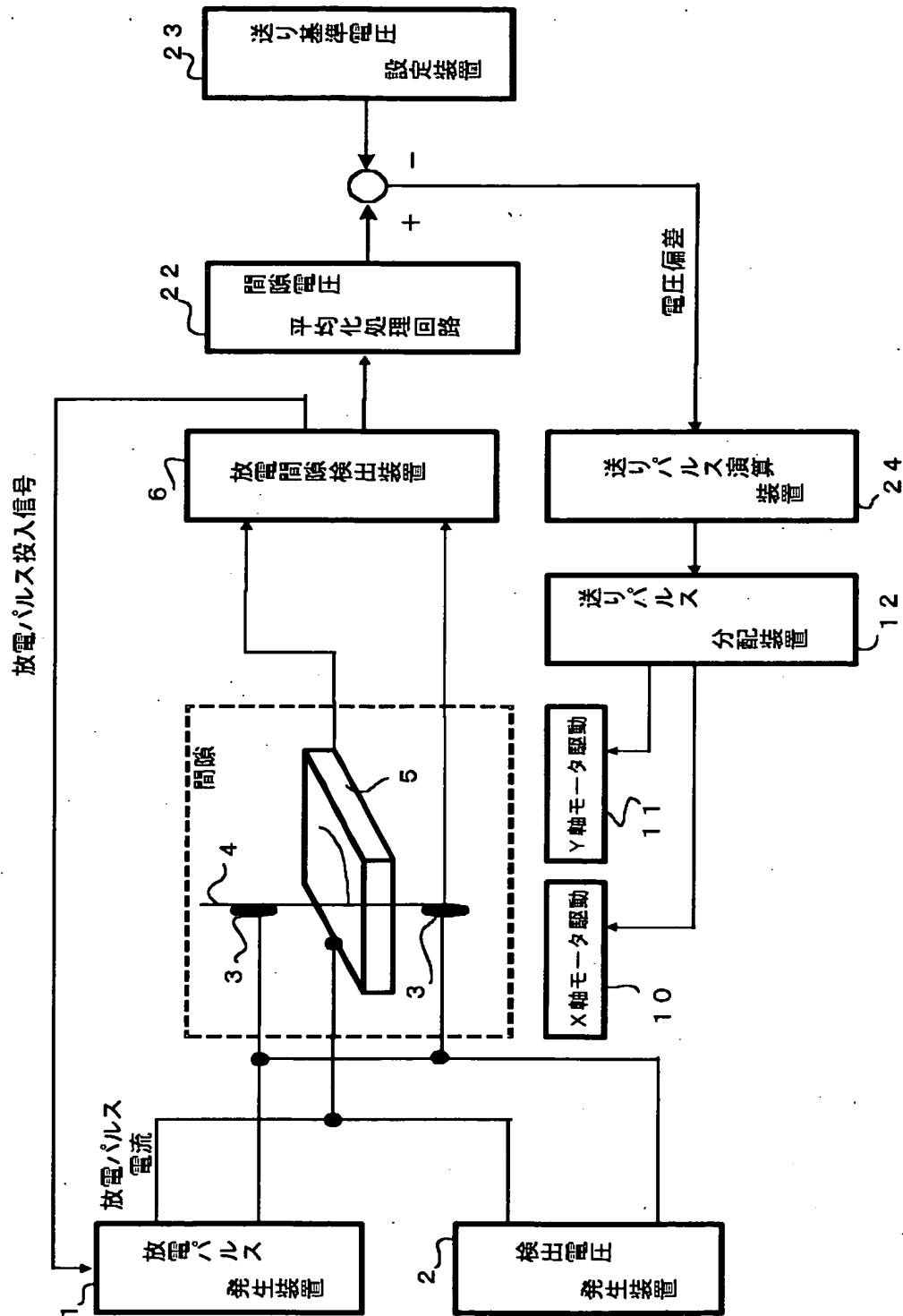
【図 15】



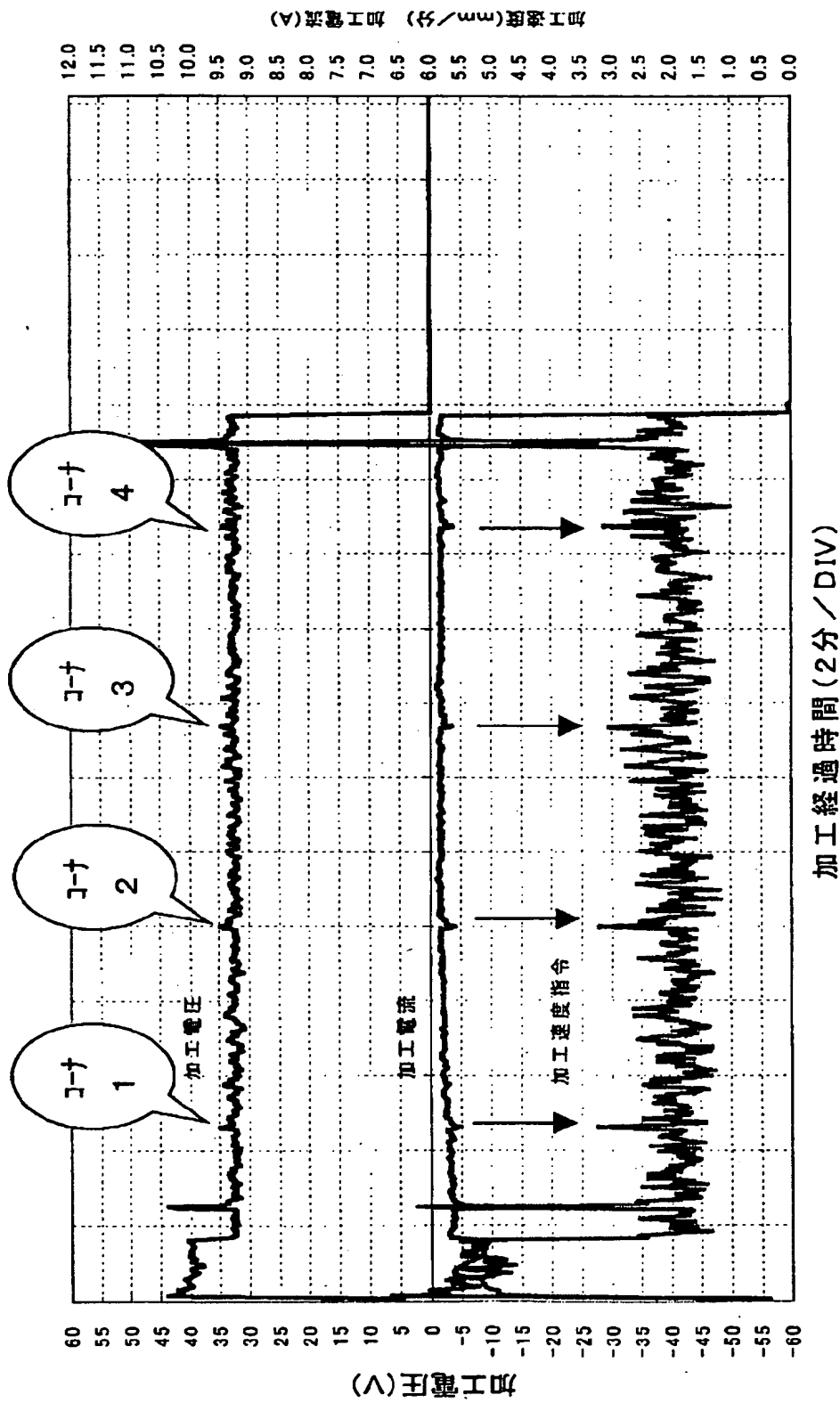
【図 1 6】



【図 17】



【図 18】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 加工速度、加工精度を向上させ、ワイヤ状電極の断線をも回避できるワイヤ放電加工機の制御装置を得る。

【解決手段】 所定時間毎ワイヤ状電極 4 と被加工物 5 間で生じた放電パルス数を計数装置 7 で計数する。この計数値 P_x と基準放電パルス数記憶装置 8 に記憶するパルス数 P_s の比率 P_x / P_s を比較判断装置 9 で求め、この比率に応じて、液量制御装置 17 で冷却液の量を制御する。又、この比率 P_x / P_s に応じて、送りパルス演算装置 13 で求める所定時間内の送り量を制御する。さらに、この比率 P_x / P_s 等により、放電休止時間制御装置 16 によって、検出電圧発生装置 2 で制御される休止時間を制御する。これにより、余剰エネルギーの投与を防止し、加工速度、加工精度を向上させ、ワイヤ状電極の断線を回避する。

【選択図】 図 1

特2000-391748

認定・付加情報

特許出願の番号	特願2000-391748
受付番号	50001664930
書類名	特許願
担当官	第三担当上席 0092
作成日	平成12年12月26日

<認定情報・付加情報>

【提出日】	平成12年12月25日
-------	-------------

次頁無

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [390008235]

1. 変更年月日	1990年10月24日
[変更理由]	新規登録
住 所	山梨県南都留郡忍野村忍草字古馬場3580番地
氏 名	ファナック株式会社